

Jyrki Hytönen ja Paula Jylhä

## Pintakasvillisuuden torjunnan ja taimityypin vaikutus kuusen taimien kuolleisuuteen ja kasvuun metsitetyllä pellolla

Seloste artikkelista: Hytönen, J. & Jylhä, P. 2008. Fifteen-year response of weed control intensity and seedling type on Norway spruce survival and growth on arable land. *Silva Fennica* 42(3): 355–368.

**K**uusi on metsänistutuksessa yleisimmin käytetty puulaji, myös pellonmetsityksessä. Kuusen istutuksessa on siirrytty lähes kokonaan paakkutaimien käyttöön. Niiden osuus oli 99 % vuonna 2006 tuotetuista kuusen taimista. Aikaisemmin suosittiin paljasjuurisista, usein suurikokoisia nelivuotiaita koulituita taimia. Pintakasvillisuuden kilpailun vaikutukset kuusen taimien kehitykseen tunnetaan vielä heikosti, etenkin pellonmetsitysaloilla. Kuusi sietää paremmin varjostusta kuin muut puulajimme, eikä se ole altis myöskään myyrä- ja hirvituhoille. Sen sijaan avoimilla kasvupaikoilla hallatuhojen vaara on suuri. Pintakasvillisuus kilpailee puuntaimien kanssa erityisesti vedestä ja ravinteista, mutta myös valosta. Runsaan siemenpankin ja maan ravinteikkouden vuoksi pintakasvillisuus on rehevää ja sen kehitys on nopeaa. Metsitetyt pellot poikkeavat kasvillisuudeltaan metsämaista jopa kymmeniä vuosia mm. heinien vallitsevuuden vuoksi. Tutkimuksessa selvitettiin pintakasvillisuuden peittävyuden ja sen torjunnan voimakkuuden vaikutuksia kuusen paljasjuuristen ja paakkutaimien kasvuun, kuolleisuuteen ja hallatuhoihin 15 vuoden seurantajaksolla.

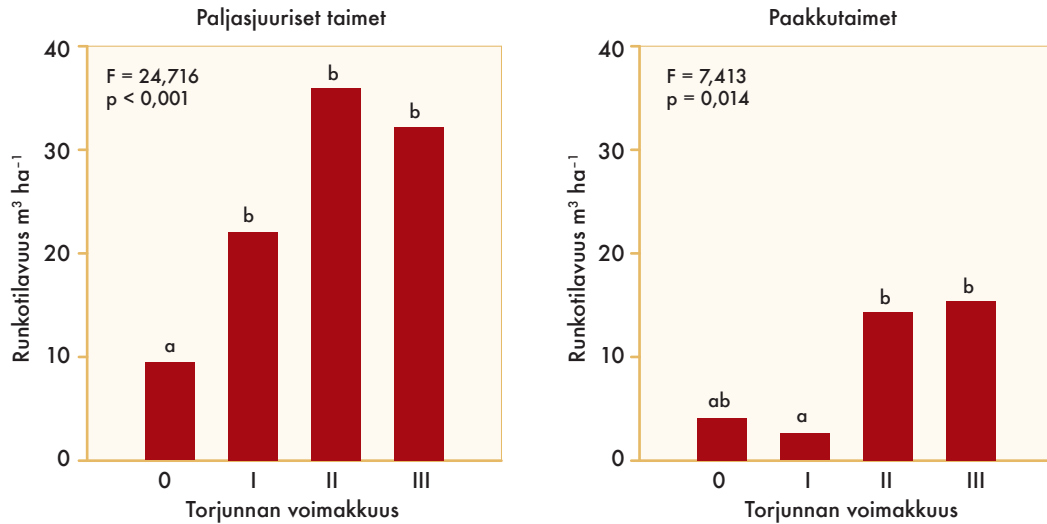
Kuusen paljasjuurisista ja paakkutaimia istutettiin keväällä 1990 100 m<sup>2</sup>:n kokoisille koeruuduille Keski-Pohjanmaalla (Toholampi) sijaitsevalle koelu-

eelle. Muutamia vuosia viljelemättömänä ollut ki-vennäismaapello kynnettiin ja jyrättiin ennen istutusta. Siten koalue oli istutushetkellä täysin kasvi-peatteeton. Pintakasvillisuuden torjunta tehtiin istutuksen jälkeen neljänä toistona terbutylatsiinilla ja glyfosaatilla. Torjuntakäsittelyt tehtiin 1–3 kasvu-kaudella, ja myös käsittelyn peittävyyttä vaihdeltiin (ks. kuva 1). Lisäksi jätettiin käsittelemättömiä vertailukoaloja. Taimien pituuden ja läpimitan kehitystä sekä terveydentilaa seurattiin 15 vuoden ajan, ja pintakasvillisuuden peittävyys ja lajikoostumus määriteltiin kolmena vuotena.

Pintakasvillisuuden torjunta vähensi taimien kuolleisuutta ja lisäsi niiden kasvua. Kertatorjunta ei parantanut paakkutaimien kasvua, mutta paljasjuurisilla taimilla se johti hyvään tulokseen. Torjunnan voimakkuuden lisääminen (kaksi kertaa toistettu laikkukäsittely ja kolme kertaa toistettu koko alan käsittely) lisäsi edelleen taimien kasvua. Paljasjuuristen taimien kuolleisuus oli pienempi. Koko 15 vuoden seurantajakson aikana paljasjuurisista taimista kuoli käsittelemättömillä koaloilla 46 % ja torjunta-aineella käsitellyillä koaloilla 12–23 %. Paakkutaimien kuolleisuus oli käsittelemättömillä ja kertaalleen käsitellyillä koaloilla yhtä suuri (67–73 %). Voimakkaammin käsitellyillä koaloilla kuolleisuus oli 27–43 %.

Paljasjuuristen taimien runkotilavuus kokeen lopussa oli yli kaksinkertainen paakkutaimiin verrattuna (kuva 1). Paljasjuurisilla taimilla paras tulos saavutettiin, kun ruiskutus tehtiin kahteen kertaan laikkukäsittelynä. Tällöin tilavuus oli 3,6-kertainen käsittelemättömiin koaloihin verrattuna (kuva 1). Paakkutaimilla tehokkaalla pintakasvillisuuden torjunnalla saatiin 3,8-kertainen tilavuus käsittelemättömiin koaloihin verrattuna. Kertakäsittelyllä saatiin paljasjuurisilla taimilla yli kaksinkertainen tilavuus verrattuna käsittelemättömiin koaloihin. Paakkutaimilla kertakäsittely ei parantanut kasvua.

Taimet kestivät pintakasvillisuuden kilpailua melko hyvin. Niiden kuolleisuus alkoi lisääntyä vasta,



**Kuva 1.** Pintakasvillisuuden torjunnan voimakkuuden vaikutus puuston runkotilavuuteen 15 vuoden iässä (0 = käsittelemätön, I = koko alan kertakäsittely, II = laikkukäsittely kahtena ensimmäisenä vuotena, III = koko alan käsittely kolmena ensimmäisenä vuotena).

kun pintakasvillisuuden peittävyys ylitti 70 %:n tason. Toistuvat hallat vaurioittivat taimia ja hidastivat niiden kasvua. Pintakasvillisuuden torjunta ei vaikuttanut hallatuhojen määrään. Kolmena kasvukautena (4., 5. ja 7. kasvukausi) hallatuhoja havaittiin keskimäärin 42–92 %:lla taimista. Mitä enemmän koealoilla oli hallan vaurioittamia taimia, sitä pienemmäksi jäivät taimien keskipituus ja puuston runkotilavuus 15 vuoden iällä. Esimerkiksi neljäntenä keväänä hallan vaurioittamien taimien määrä korreloi negatiivisesti ja tilastollisesti merkitsevästi seurantajakson lopussa mitatun puuston tilavuuden kanssa ( $r = -0,658$ ,  $p < 0,001$ ).

Kemiallisia pintakasvillisuuden torjunta-aineita ei käytetä enää juuri lainkaan metsänviljelyssä, ja markkinoilta on poistunut monia tuotteita. Esimerkiksi tässä tutkimuksessa käytettyä maavaikutteista terbutylatsiinia ei ole enää saatavana. Tämän tutkimuksen mukaan pintakasvillisuuden torjunta taimien ympäriltä vähentää kilpailua ja parantaa tai-

mien kasvua sekä vähentää kuolleisuutta. Tutkimus osoittaa, että tehokas pintakasvillisuuden kilpailun vähentäminen on erityisen tärkeää silloin, kun käytetään pieniä paakkutaimia. Käytettävissä olevien kemiallisten torjuntakeinojen vähennyttä olisi tärkeää tutkia muita keinoja, joilla voidaan turvata taimikon kehitys.

■ MMT Jyrki Hytönen, MMM Paula Jylhä, Metsäntutkimuslaitos, Kannuksen toimintayksikkö. Sähköposti jyrki.hytönen@metla.fi

Hilppa Gregow, Ari Venäläinen,  
Heli Peltola, Seppo Kellomäki ja  
David Schultz

## Metsien tuuli- ja lumituhoriskin ajallinen ja alueellinen vaihtelu Suomessa 1961–2000

Seloste artikkelista: Gregow, H., Venäläinen, A., Peltola, H., Kellomäki, S. & Schultz, D. 2008. Temporal and spatial occurrence of strong winds and large snow load amounts in Finland during 1961–2000. *Silva Fennica* 42(4): 515–534.

**S**uomi sijaitsee maantieteellisesti metsiä suosival-  
la paikalla ja ilmasto-olomme ovat siten vuoden-  
aikaisvaihtelusta huolimatta melko tasaiset. Erilaisia  
ääri-ilmiöitä, kuten hyvin alhaisia tai korkeita läm-  
pötiloja, kovaa kuivuutta tai tulvia esiintyy meillä  
vain satunnaisesti. Kuitenkin erityisesti ns. Atlantin  
myrskyrataa pitkin lännestä saapuvat matalapaineen  
alueet kulkevat ajoittain Suomen yli tai maamme  
hipoen aiheuttaen poikkeavia säätilanteita, jotka vai-  
kuttavat sekä yksittäisten ihmisten elämään että ko-  
ko yhteiskuntaan. Tällaisia tilanteita ovat esimerkiki-  
si myrskyt, joiden yhteydessä esiintyvät kovat tuulet  
ja joskus myös suuret lumisademäärät aiheuttavat  
mm. metsätuhoja. Tuhojen suuruusluokasta ovat esi-  
merkkinä joulukuussa 1999 Euroopassa myrskyjen  
vaikutuksesta kaatuneet 175 miljoonaa ja Suomes-  
sa marraskuun 2001 myrskyissä tuhoutuneet yli 7  
miljoonaa puukuutiota. Myrskyt vioittavat puita ja  
aiheuttavat ylimääräisiä korjaus- ja suunnittelukus-  
tannuksia. Näiden lisäksi vioittuneet puut houkut-  
televat helposti alueelle tuhohyönteisiä, jotka voivat  
olla vaaraksi jäljelle jääneille puille.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää  
mahdollisimman kattavasti metsätuhoja aiheuttavien  
säätapauksen jakaumia Suomessa perustuen Ilmatie-  
teen laitoksen 40 vuoden ajalla vuosina 1961–2000  
tekemiin säähavaintoihin. Laskelmat tehtiin 19 eri  
puolella Suomea sijaitsevan havaintoaseman mit-  
tausten pohjalta. Tuulen osalta tutkittiin 11 m s<sup>-1</sup>,  
14 m s<sup>-1</sup> ja 17 m s<sup>-1</sup> ylittäviä keskituulia. Lisäksi  
tarkasteltiin myös miten kovat tuulet jakautuvat eri  
roudansyvyysluokkiin alkutalvesta kevääseen. Lu-

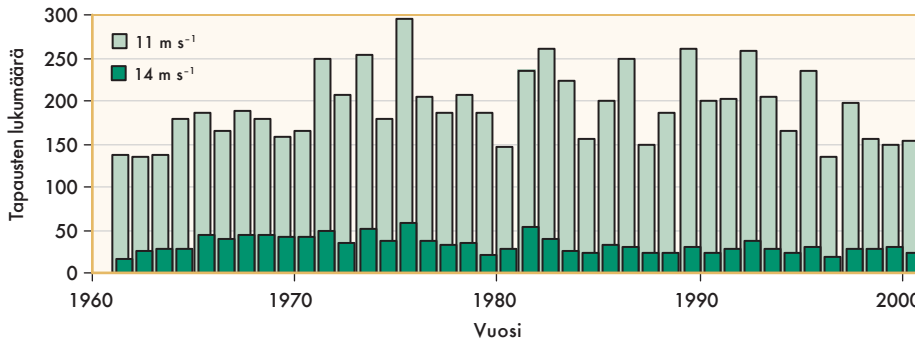
mituhoriskin kartoittamiseen käytettiin uutta lähes-  
tymistapaa, jossa laskettiin puiden oksille kertyvän  
lumen määrä ottaen huomioon sademäärän ohella  
tuulen ja lämpötilan kuluttava vaikutus. Lumen ker-  
tymien osalta päädyttiin tarkastelemaan lähinnä 20  
kg m<sup>-2</sup> ja 30 kg m<sup>-2</sup> kertymiä.

Kovat tuulet ovat tulosten mukaan yleisimpiä me-  
rialueiden ohella maamme länsi- ja lounaisrannikol-  
la. Myös järvisyys sekä maaston korkeus lisää tuu-  
lisuutta. Yksittäisiä tuulenskaatoja suurempia tuho-  
ja tulee metsissä, jos 10 minuutin keskituuli ylittää  
14 m s<sup>-1</sup>. Näitä 14–17 m s<sup>-1</sup> tuulitapauksia on ollut  
meriasemia lukuun ottamatta keskimäärin nollassa  
kuuteen kertaan 10 vuodessa. Yli 17 m s<sup>-1</sup> keski-  
tuulet ovat sisämaassa hyvin harvinaisia ja liittyvät  
useimmiten kesäajan ukkospuuskiin. Toisaalta met-  
sätuhojen kannalta myös 14 m s<sup>-1</sup> keskituuleen voi  
liittyä puuskia, jotka voivat olla noin kaksinkertaisia  
keskituuleen nähden, eli jopa 28 m s<sup>-1</sup>. Tämän suu-  
ruusluokan puuskien arvioitiin aiheuttaneen muun  
muassa Aarno- ja Mauri-myrskyjen metsätuhot.

Tuulisuus ei näytä lisääntyneen viime vuosikym-  
menen loppuun mennessä, vaan päinvastoin kovien  
tuulitapausten lukumäärät ovat pienempiä kuin esi-  
merkiksi 80- ja 90-lukujen vaihteen tienoilla (kuva  
1). Myös kovempien, yli 14 m s<sup>-1</sup>, tuulten lukumää-  
rät ovat tulosten mukaan keskimäärin hieman vähen-  
tyneet 80-luvulta alkaen. Muuten tuulisuuden vaihtelu  
vuodesta toiseen on melko satunnaista. Yhteys  
Pohjois-Atlantin värähtelyyn (NAO) on olemassa:  
yli 11 m s<sup>-1</sup> ja NAO-indeksin välinen positiivinen  
korrelaatiokerroin on 0,5.

Suurin osa kovista tuulista on puhaltanut aikana,  
jolloin routaa on ollut yli 20 cm (joulu- ja touko-  
kuu). Suomen ilmastossa routa estää keskimäärin  
hyvin tuulituhon. Riskiaikaa on syksy aina marras-  
kuuhun saakka, jolloin tuulet osuvat enimmäkseen  
roudanpaksuusluokkaan 0–20 cm.

Varsinkin lehtipuiden tuhoriskiä lisääviä lumitaak-  
koja eli yli 20 kg m<sup>-2</sup> kertymäpäiviä on ollut Suo-  
messä 40 vuoden aikana tämän tutkimuksen mu-  
kaan monin paikoin jopa vuosittain. Maamme koil-  
lis- ja pohjoisosissa kertymäpäiviä on tyypillisesti  
enemmän kuin etelässä, mutta oletettavasti eteläs-  
säkin mm. orografian vuoksi voidaan paikoin pääs-  
tä suuriin lukemiin. Havupuiden kohdalla lumituhoriski  
alkaa kasvaa yli 30 kg m<sup>-2</sup> kertymillä, joiden  
kohdalla alueellinen jakauma on samantyyppinen



**Kuva 1.** Tapauksen lukumäärä, jolloin tuulen nopeus oli joko yli 11 m s<sup>-1</sup> tai yli 14 m s<sup>-1</sup>. Havainnot ovat 19 suomalaiselta havaintoasemalta vuosilta 1961–2000.

kuin pienemmillä kertymillä. Etelässä tämän suuruusluokan kertymiä on ollut useimmiten nollasta kahteen tapausta vuosikymmenessä, mutta paikoin jopa 4–10 tapausta vuosikymmenessä. Pohjoisessa kertymäpäiviä on ollut keskimäärin 11–27 kertaa vuosikymmenessä. Mielenkiintoinen tulos on se, että Pohjois-Suomen yli 30 kg m<sup>-2</sup> kertymät painottuvat 90-luvulle.

NAO-indeksin ja lumen kertymien välillä vallitsee heikko positiivinen korrelaatio, joka viittaa siihen, että suuren mittakaavan perusvirtaus voi luoda otolliset olosuhteet lumen satamiselle, mutta paikalliset tekijät, kuten orografia, vaikuttavat kuitenkin erittäin paljon lumituhoriskin suuruuteen.

■ FK Hilppa Gregow, FT Ari Venäläinen, prof. David Schultz, Ilmatieteen laitos; MMT Heli Peltola, prof. Seppo Kellomäki, Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta. Sähköposti hilppa.gregow@fmi.fi

Risto Jalkanen, Sheila Hicks,  
Tarmo Aalto ja Hannu Salminen

## Männyn siitepölytuotannon määrittäminen neulastuotannon avulla metsänrajalla: väline menneen ilmastorakentamiseen

Seloste artikkelista: Jalkanen, R., Hicks, S., Aalto, T. & Salminen, H. 2008. Past pollen production reconstructed from needle production in *Pinus sylvestris* at the northern timberline: a tool for evaluating palaeoclimate reconstructions. *Silva Fennica* 42(4): 499–513.

Männyn vuosikasvain koostuu niin sanotuista kasvuyksiköistä, joista suurin osa on neulaisia kantavia kääpiö- eli lyhytversoja. Niiden määrä pitkäversossa eli vuosikasvaimen varressa vaihtelee 10–20:stä muutamiin satoihin pitkäverson sijainnista ja kasvuolosuhteista riippuen. Kun mänty alkaa hedekukkia, noin kaksi kolmasosaa kukkivan verson pituudesta on korvautunut hedekukkinnoilla. Hedekukintojen määrä on suurin ala- ja keskilatvuksessa; ylimpään latvukseen ja latvakasvaimen hedekukkia muodostuu hyvin vähän jos ollenkaan.

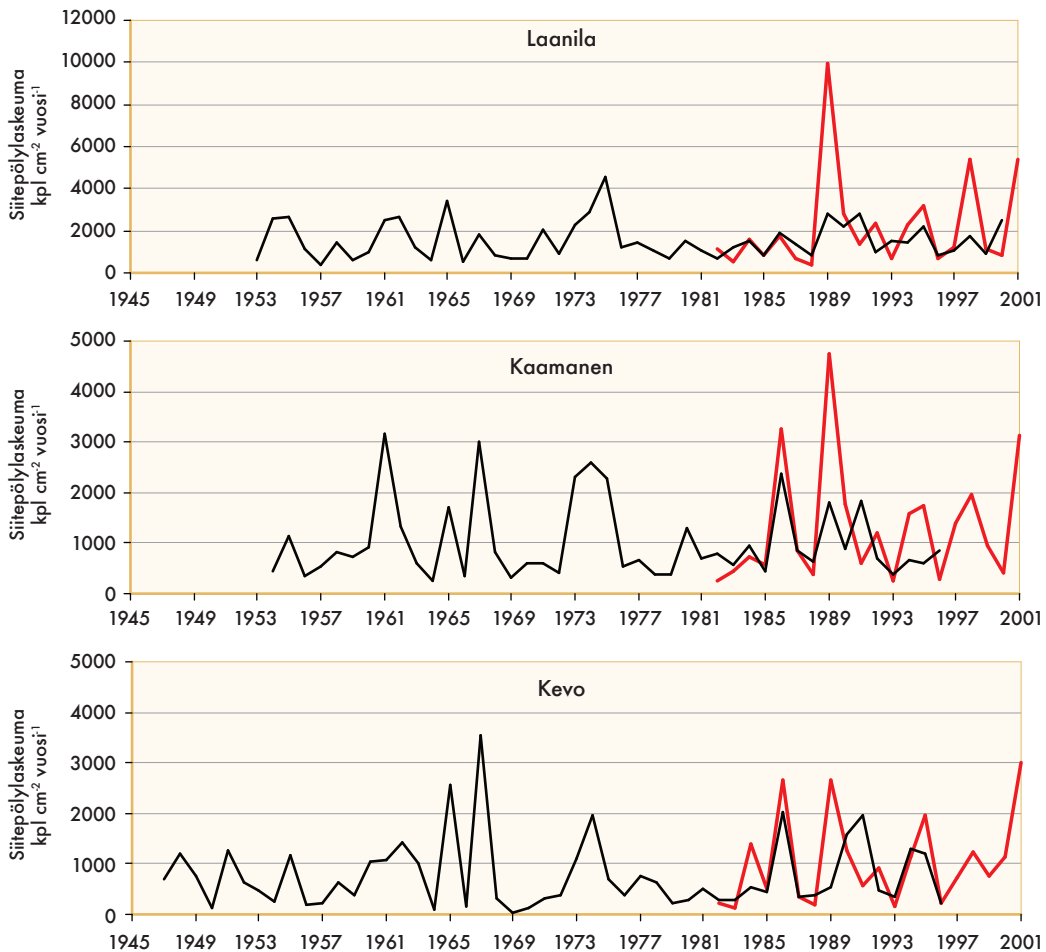
Hedekukissa syntyy vuositasolla suuresti vaihteleva määrä siitepölyä. Sekä siitepölyn että kääpiöversojen määrä kasvaimessa on sitä suurempi, mi-

tä paremmat kasvuedellytykset männyllä on ollut edellisellä vuonna. Toisin sanoen molempien määrä riippuu positiivisesti edellisen kesän lämpötilasta metsänrajalla, ja molemmat korreloivat hyvin myös keskenään.

Siitepölytuotannon vaihteluista saadaan tarkka tieto vuoden aikana maahan sijoitettuun keräimeen laskeutuneen siitepölyn määrän avulla. Maailman pisimmät (vuodesta 1982 alkaen) aikasarjat männyn siitepölylaskeumista sijaitsevat Suomen Lapisissa, missä samoilta kohteilta on olemassa niin ikään pitkät aikasarjat männyn neulastuotannosta. Neulastuotanto määritetään männyn rungon kasvaimista neulasjätkimenetelmän avulla.

Tämän työn tarkoituksena oli ensimmäistä kertaa selvittää, miten siitepölylaskeuma ja neulastuotanto riippuvat yhtäältä toisistaan, toisaalta lämpötilasta. Lisäksi tutkittiin mahdollisuutta selittää yhtä muuttujaa toisen muuttujan avulla. Työssä oletettiin, että jos molempien muuttujien vaihtelua tässä aineistossa selittää sama tekijä, esimerkiksi heinäkuun lämpötila, neulastuotannon, josta on helpompi tuottaa pitkiä aikasarjoja, avulla voidaan rakentaa ennustettu siitepölyaika- ja kauemmaksi taaksepäin kuin mihin keräinten aikasarja ulottuu. Näin voitaisiin tukea turveprofiilien ajoituksia ja tarkentaa siitepölyanalyysijä.

Neulastuotannon ja siitepölylaskeuman suhdetta



**Kuva 1.** Ukonjärvellä, Palomaassa ja Kevolla mitattu (punainen viiva) ja Laanilassa, Kaamasessa ja Kevolla määritetyn neulastuotannon avulla ennustettu (musta viiva) männyn siitepölylaskeuma.

ja riippuvuuksia lämpöoloista tutkittiin Lapissa Rovaniemeltä Kevolle ulottuvalla viiden koemetsikön linjalla. Siitepölylaskeumat ovat vuosilta 1982–2000 ja neulastuotanto 1950-luvulta vuoteen 2000.

Siitepölylaskeuman ja neulastuotannon aikasarjat olivat varsin yhtenevät. Neulastuotanto ja siitepölylaskeuma korreloivat keskenään erittäin vahvasti kolmella pohjoisimmalla alueella (Laanila/Ukonjärvi, Kaamanen/Palomaa ja Kevo/Kevo), missä neulastuotanto selitti 51 % siitepölylaskeuman vaihtelusta. Voimakkain ilmastotekijä oli edellisen vuoden heinäkuun keskilämpötilä. Neulastuotanto korreloi sen kanssa merkitsevästi kaikilla viidellä alueella ja siitepölylaskeuma neljällä pohjoisimmalla kohteella.

Koska neulastuotanto ja siitepölylaskeuma riippuivat toisistaan voimakkaimmin metsänrajan läheisellä alueella, sen alueen kohteille rakennettiin siitepölytuotannon malli nykypäivästä taaksepäin neulastuotannon avulla (kuva 1). Mallia verrattiin sekä vuosien 1982–2000 alkuperäiseen siitepölyaineistoon että vuosina 1956–1973 Lapista kerättyyn hedekukintoaineistoon. Tämän perusteella arvioidaan, että neulastuotantoaikasarjojen avulla on mahdollista tukea siitepölyanalyysien tekoa ja ajoitusta turveprofiileista metsänraja-alueilla, missä ilmastosiisänaali on voimakkaimmillaan.

■ MMT, FT Risto Jalkanen, mti Tarmo Aalto, MMM Hannu Salminen, Metla, Rovaniemen toimintayksikkö; prof., FT Sheila Hicks, Geotieteiden laitos, Oulun yliopisto. Sähköposti risto.jalkanen@metla.fi

Jussi Peuhkurinen, Matti Maltamo ja Jukka Malinen

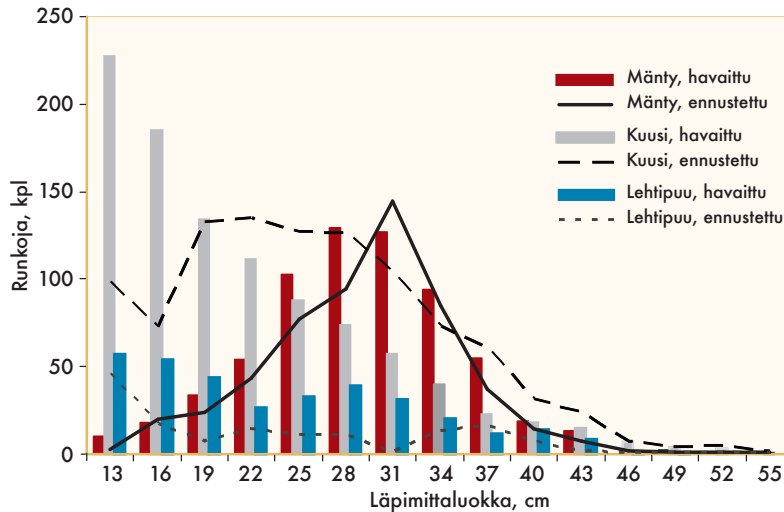
## Puulajeittaisten läpimittajakaumien ja tukkisaannon ennustaminen laserkeilausaineiston ja digitaalisen ilmakuvan avulla

Seloste artikkelista: Peuhkurinen, J., Maltamo, M. & Malinen, J. 2008. Estimating species-specific diameter distributions and saw log recoveries from ALS data and aerial photographs: a distribution-based approach. *Silva Fennica* 42(4): 625–641.

**L**entokoneesta tehty laserkeilaus on osoittautunut tehokkaaksi ja luotettavaksi metsien inventointimenetelmäksi esimerkiksi metsäsuunnitelman puustotietojen tuottamisessa pohjoisella havumetsävyöhykkeellä. Laserkeilausaineiston lisäksi kaukokartoitusaineistona on käytetty vääräväri-ilmakuvaa, jolloin myös puulajeittaiset ennusteet ovat olleet hyviä. Asiakaslähtöisen puunhankinnan näkökulmasta pelkkä metsikön keskietietojen tuottaminen ei kuitenkaan anna riittäviä perusteita operatiivisen suunnittelun tueksi. Ennakkoinformaation tulisi sisältää ainakin puulajeittaiset läpimittajakaumat sekä mahdolliset ulkoiseen tekniseen laatuun vaikuttavat tekijät oikean hakkuuohjelman valitsemiseksi.

Tutkimuksessa selvitettiin harvapulssisen laserkeilausaineiston ja digitaalisen vääräväri-ilmakuvan käyttöä leimikkotason puulajeittaisten läpimittajakaumien ennustamisessa. Lisäksi tutkittiin mahdollisuutta käyttää hakkuukoneella kerättyä runkopankiaineistoa aputietona leimikon tukkisaannon ennustamisessa.

Tutkimusalueena oli UPM-Kymmene Oyj:n omistama Matalansalon noin 1200 hehtaarin metsätila Varkaudessa. Tutkimusaineisto käsitti kaukokartoitusaineiston, joka sisälsi tutkimusalueen kattavan harvapulssisen (noin 0,7 pulssia/m<sup>2</sup>) laserkeilausaineiston ja digitaalisen vääräväri-ilmakuvan sekä maastomittausaineiston, joka sisälsi kolme toisistaan riippumatonta aineistoa:



**Kuva 1.** Esimerkki yhden leimikon ennustetuista ja mitatuista läpimittajakaumista.

1. Testileimikot, 14 tutkimusalueella sijaitsevaa kaukokartoitusaineiston keräämisen jälkeen (vuosina 2004–2005) hakkuukoneella hakattua päätehakkuuleimikkoa, joista oli tallennettu hakkuukoneen puukohtainen mittaustieto (STM-tieto).
2. Referenssikoealat, 474 tutkimusalueelle sijoitettua vuonna 2004 mitattua säteeltään 9 metristä ympyräkoealaa.
3. Runkopankkiaineisto, STM-tieto 35 tutkimusalueen ulkopuoliselta päätehakkuuleimikolta.

Hakkuukoneen puukohtainen mittaustieto (STM-tieto) sisältää hakkuukoneen mittalaitteen keräämän tiedon jokaisesta kaadetusta puusta. Tässä tutkimuksessa STM-tiedosta hyödynnettiin puulajia, rungon läpimittatietoa sekä katkontatietoa, joka sisälsi katkottujen pölkkyjen tilavuudet ja puutavaralajit.

Läpimittajakauman estimointimenetelmänä käytettiin k:n lähimmän naapurin menetelmää, jossa etäisyys naapureihin laskettiin laserkorkeusjakaumista ja ilmakuvan sävyarvojakaumista käyttäen etäisyysfunktiona diskreetteistä jakaumista laskettujen absoluuttisten luokkohtaisten erotusten summaa. Läpimittajakaumien ennustamista varten testileimikoiden päälle asetettiin säännöllinen ruudukko, jossa yhden ruudun pinta-ala vastasi referenssikoealan pinta-ala. Tämän jälkeen kullekin testileimikon ruudulle haettiin yhdestä kolmeen lähintä naapuria referenssikoealojen joukosta ja ruudun läpimittaja-

kauma muodostettiin valittujen referenssikoealojen rungoista painottaen referenssikoealan runkoja etäisyysfunktion arvolla. Leimikkokohtaiset läpimittajakaumat muodostettiin summaamalla leimikon ruutukohtaiset jakaumat leimikoittain.

Testileimikoiden tukkisaannot ennustettiin samalla menetelmällä kuin läpimittajakaumat, mutta naapurit haettiin runkopankkiaineiston leimikoista testileimikoille ennustettujen leimikkokohtaisten läpimittajakaumien ja runkopankkiaineiston leimikoiden todellisten läpimittajakaumien perusteella. Lopuksi ennustettuja läpimittajakaumia ja tukkisaantoja verrattiin hakkuukoneen mittalaitteen keräämistä puustokohtaisista STM-tiedoista laskettuihin läpimittajakaumiin ja tukkisaantoihin.

Tulosten perusteella menetelmällä pystytään ennustamaan leimikon puulajeittaiset läpimittajakaumat melko tarkasti (kuva 1), mutta laatutekijöistä riippuvan tukkisaannon ennustamisen virheet ovat liian suuria käytännön hyödyntämisen kannalta. Runkopankkiaineisto voi tarjota kuitenkin käyttömahdollisuuksia kaukokartoitukseen perustuvan puunhankinnan suunnittelun aputietona.

■ MMM Jussi Peuhkurinen, prof. Matti Maltamo, Joensuun yliopisto, Metsätieteellinen tiedekunta; MMT Jukka Malinen, Metsäntutkimuslaitos, Joensuun tutkimusyksikkö. Sähköposti [jussi.peuhkurinen@joensuu.fi](mailto:jussi.peuhkurinen@joensuu.fi)



Tuula Jyske, Harri Mäkinen ja Pekka Saranpää

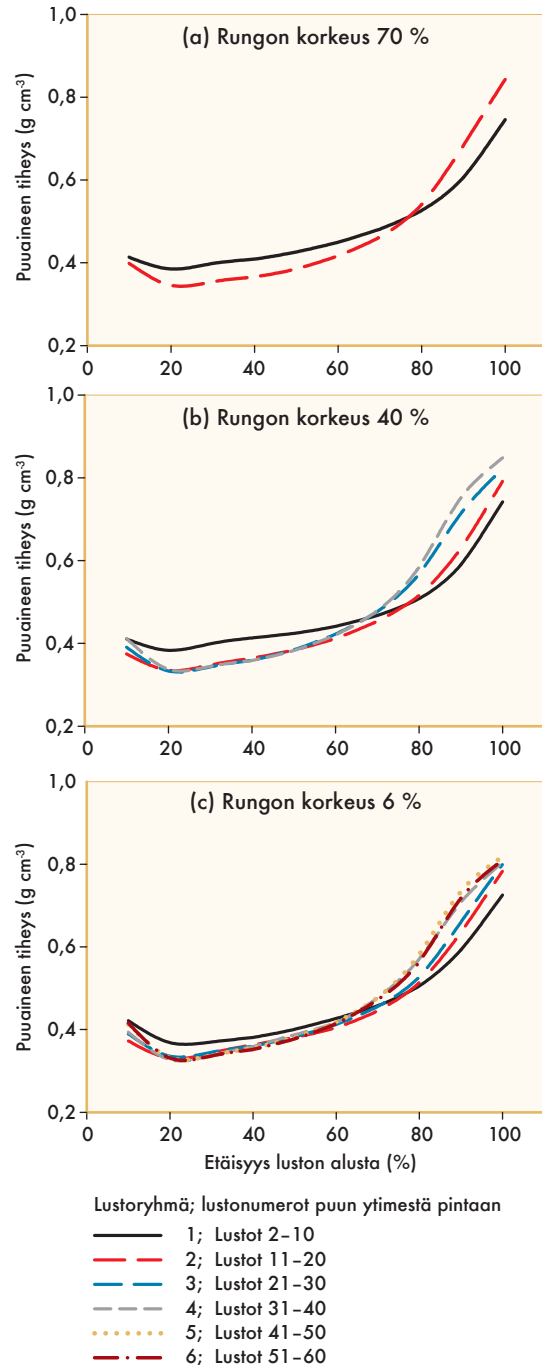
## Kuusen puuaineen tiheyden vaihtelu

Seloste artikkelista: Jyske, T., Mäkinen, H. & Saranpää, P. 2008. Wood density within Norway spruce stems. *Silva Fennica* 42(3): 439–455.

**P**uuraaka-aineen ominaisuudet vaikuttavat loppu-  
tuotteiden laatuun ja raaka-aineen käyttökelpoi-  
suuteen erilaisissa metsäteollisuuden prosesseissa. Puuaineen tiheys on yleisesti käytetty puuraaka-  
aineen laatua kuvaava indikaattori, sillä se osoittaa  
puun kuivamassasisällön ja korreloi myös puukui-  
tujen ominaisuuksien kanssa. Puuaineen tiheyden  
vaihtelun parempi tunteminen voi parantaa raaka-  
aineen lajittelua ja tehostaa raaka-aineen vaihtelun  
hallintaa erilaisissa jalostusprosesseissa. Lisäksi  
puuaineen tiheyden vaihtelun tarkempi tunteminen  
mahdollistaa yksityiskohtaisten puuaineen ominai-  
suuksia kuvaavien ennustemallien kehittämisen.

Tässä tutkimuksessa selvitettiin kuusen (*Picea abies* (L.) Karst.) puuaineen tiheyden vaihtelua koe-  
puiden välillä ja etenkin runkojen sisällä. Runkojen  
sisästä puuaineen tiheyden vaihtelua tutkittiin puun  
ytimestä kohti pintaa, ja puun pituussuunnassa run-  
gon tyveltä latvaan. Lisäksi tutkimuksessa selvitet-  
tiin puuaineen tiheyden vaihtelua lustojen sisällä.

Aineisto kerättiin kahdelta Metsäntutkimuslaitok-  
sen ylläpitämältä pitkään seuratulta lannoitus-har-  
vennuskokeelta Parikkalasta ja Suonenjoelta. Puu-  
aineen tiheys sekä vuosilustojen leveys ja kesäpuun  
osuus mitattiin röntgendensitometrillä 85 koepuusta  
ytimestä pintaan 6 %, 20 %, 40 %, 60 % ja 70 % kor-  
keuksilta rungosta otetuista näytekiekoista. Tihey-  
den vaihtelua tutkittiin sekä luston järjestysnumeron  
mukaan puun ytimestä kohti pintaa (jälleen ikä), että  
suhteessa luston ikään puun pinnasta ytimeen päin  
laskettaessa (ontogeeninen ikä = luston syntyvuo-  
si – puun syntyvuosi). Puuaineen tiheysvaihtelua  
lustojen sisällä tutkittiin jakamalla luston sisäiset  
tiheysmittaukset (eli pikselit, joiden koko oli 25,4  
µm) kymmeneen yhtä suureen ryhmään luston alus-  
ta luston loppuun lukien. Lisäksi analysoitiin, pal-  
jonko puuaineen tiheyden kokonaisvaihtelusta oli



**Kuva 1.** Kuusen puuaineen tiheyden vaihtelu luston sisällä eri lustoryhmissä puun ytimestä pintaan (luston järjestysnumeron mukaan) 70 % (a), 40 % (b) ja 6 % (c) korkeudella rungossa.



vaihtelua runkojen välillä, runkojen sisällä säteensuunnassa ja pituussuunnassa, sekä lustojen sisällä kevät- ja kesäpuussa. Analyysissä puuaineen tiheysvaihtelusta poistettiin luston leveyden vaikutus, eli tiheys vakioitiin luston leveyden suhteen käytämällä luston leveyttä kovariaattina.

Erot koepuiden välillä selittivät 5–21 % ja erot rungon pituussuunnassa selittivät 3–6 % tiheyden kokonaisvaihtelusta. Luston numero ytimeistä selitti 11–16 %, ja luston ikä 25–27 % tiheyden vaihtelusta. Suurin osa, 49–80 %, kokonaisvaihtelusta johtui eroista luston sisällä kevät- ja kesäpuussa.

Rungon kaikilla korkeuksilla puuaineen tiheys laskee ytimeistä kohti lustoja 10–20, jonka jälkeen tiheys kasvoi tasaisesti kohti puun pintaa. Tiheyden muutos ytimen lähellä johtui pääosin kevätpuun tiheyden vaihtelusta. Kun puuaineen tiheyttä tarkasteltiin rungon eri korkeuksilla jälleen iän mukaan (sama luston numero ytimeistä pintaan), havaittiin luston keskimääräisen tiheyden, sekä kevät- ja kesäpuun tiheyden hieman nousevan tyveltä latvaan. Ontogeenisen iän (luston syntymävuosi) suhteen tarkasteltuna luston keskimääräinen tiheys lievästi laski, mutta kevätpuun ja kesäpuun tiheydessä ei havaittu yhtä selvää muutosta puun tyveltä latvaan.

Luston sisällä puuaineen tiheys laski noin 20 % etäisyydelle kevätpuun alusta lukien (kuva 1). Tämän jälkeen tiheys kasvoi tasaisesti kohti kesäpuuta. Noin 70 % etäisyydellä luston alusta puuaineen tiheys alkoi nousta nopeasti kohti vuosiluston rajaa. Ensimmäinen muodostunut kevätpuu oli tiheämpää lustoissa lähellä puun ydintä. Sen sijaan ero kevät- ja kesäpuun tiheydessä oli suurempi lähellä puun pintaa olevissa lustoissa. Puuaineen tiheyden lisääntyminen ytimeistä kohti puun pintaa johtui sekä kesäpuun tiheyden lisääntymisestä, että suuremmasta kesäpuuosuudesta.

Tulokset vahvistavat aiempien tutkimusten havainnot puuaineen tiheyden vaihtelusta kuusella: tiheyden vaihtelu rungon pituussuunnassa on vähäistä säteensuuntaiseen vaihteluun verrattuna. Suurin osa puuaineen tiheyden vaihtelusta on lustojen sisäistä vaihtelua, joka johtuu pääosin anatomisista eroista kevät- ja kesäpuutrukeidien välillä.

■ MMT Tuula Jyske, Ph.D. Harri Mäkinen, FT Pekka Saranpää, Metsäntutkimuslaitos, Vantaan toimintayksikkö. Sähköposti tuula.jyske@metla.fi

Jani Laturi, Jarmo Mikkola ja  
Jussi Uusivuori

## Käytössä olevien puutuotteiden hiilivaranto Suomessa ja skenaariot vuoteen 2050

Seloste artikkelista: Laturi, J., Mikkola J. & Uusivuori, J. 2008. Carbon reservoirs in wood products-in-use in Finland: current sinks and scenarios until 2050. *Silva Fennica* 42(2): 307–324.

**P**uun kasvaessa siihen sitoutuu hiiltä ilmakehästä, tämä hiilivaranto palautuu ilmakehään vasta puun hajotessa mm. lahoamalla. Puusta tehtyjen pitkäikäisten tuotteiden käytöllä voidaan ylläpitää sitä hiilivarantoa mikä syntyi puun kasvaessa ja siirtää hajoamisprosessin alkuaikaa. Puutuotteiden käyttöä ja potentiaalia ilmastonmuutoksen ehkäisyyn on selvitetty mm. kansainvälisen ilmasto-paneelin IPCC:n puitteissa (katso esim. IPCC 2006, IPCC 2007). Myös vuoden 2006 Suomen kansallisessa kasvihuonekaasuinventaariossa puutuotteisiin sisältyvän hiilivarannon muutos otetaan huomioon maankäyttö-, maankäytön muutos- ja metsätalouden sektorin nettonielussa. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää miten puutuotteiden hiilivaranto kehittyy Suomessa lähivuosikymmeninä, sekä arvottaa hiilivarannon muutosten nykyarvo.

Tässä tutkimuksessa arvioidaan myös jo käyttöönotettujen puutuotteen keskimääräistä poistumaa ajan kuluessa. Ensimmäinen arvioitiin rakennuskannan puutuotteiden vuotuinen poistuma käyttäen METLA:n ja FAO:n tilastoja sahatavaran, vanerin, lastulevyn ja kuitulevyjen kulutuksesta, sekä käyttäen inventointituloksia hiilivarannoista Suomen rakennuskannassa vuosina 1995 ja 2000. Sahatavaran osalta lähtökohdaksi valittiin kulutustilastoinnin ensimmäinen vuosi 1955 ja lähtöarvoksi rakennuskannan hiilivarannolle oletettiin 5 miljoonaa tonnia hiiltä. Puulevyjen osalta tilastointi alkaa vuodesta 1961 ja hiilivarannon arvioitiin olleen ennen tuota vuotta 0. Kun noin 25 % sahatavarasta (puulevyistä vielä suurempi osuus) käytetään muuhun kuin rakentamiseen, inventointitulokset eivät sisällä kaikkea puutuottei-

siin varastoitunutta hiiltä. Näin ollen kaikkea puutavaraa ei ole myöskään käytetty rakennuskantaan, joten kulustilaston arvosta vähennettiin vastaavat osuudet. Sahatavaran ja varsinkin levyjen osalta ensimmäisenä vuotena hävikki (esimerkiksi rakennusjätteen osuus) on suuri, joka otettiin huomioon ensimmäisen vuoden poistumaksi. Tämän jälkeen laskettiin keskimääräinen poistuma, millä päästään vuoden 2000 rakennuskannassa olleeseen hiilivarantoon. Rakennuskantaan käytetyn sahatavaran osalta keskimääräiseksi vuotuiseksi poistumaksi saatiin 1,75 % ja puulevyille 2,89 %. Puutuotteiden ilmasto-vaikutus käytön jälkeen jätettiin ottamatta huomioon tässä tutkimuksessa, koska esimerkiksi lahoamisnopeudesta sekä metaanin muodostuksesta kaatopaikoilla ei ole riittävää tietoa saatavilla.

Vuodelle 2004 puutuotteiden hiilivaranto arvioitiin käyttäen kotimaan sahatavaran ja puulevyjen kulustilastoja ja olettaen, että kaiken puutavaran poistuma on samankaltainen kuin rakennuskantaan päätyneen. Puutuotteiden kokonaishiilivarannoksi vuodelle 2004 saatiin 26,6 miljoonaa tonnia hiiltä, josta sahatavaruotteiden osuus oli 23,51 milj. t C. Puulevyjen hiilivarannoksi saatiin 3,05 milj. t C. Hiilivarannon kehitysennuste laadittiin vuosille 2005–2050, käyttäen oletusta että poistuma säilyy samankaltaisena kuin ennenkin. Lisäksi sahatavaran, vanerin, lastulevyn ja kuitulevyjen kulutukselle laadittiin ennuste vuosille 2005–2050 käyttäen mediaania VAR-, VARX-, VECM- ja RWD-mallien ennusteista. Ennustetut kulutuksen muutokset on esitetty taulukossa 1.

Sahatavaran vuoden 2050 kotimaan kulutukseksi ennustettiin 10135 milj. m<sup>3</sup>, joka vastaa 1,31 % vuotuista kasvua. Vanerin ja kuitulevyjen kulutuksen ennustetaan kasvavan vähän hitaammin kuin sahatavaran. Ainoastaan lastulevyn kulutuksen ennakoitaan vähenevän (4,79 % per vuosi).

Laadittaessa ennusteita tulevasta hiilivarannon kehityksestä laskettiin kolme skenaariota tulevasta puutuotteiden kulutuksesta. Ensimmäinen skenaario käyttää yllä olevaa kulutusennustetta, toisessa skenaariossa oletettiin että sahatavaran kulutus säilyy vuodet 2005–2050 vuoden 2004 tasolla. Kolmannessa skenaariossa tarkasteltiin tilannetta että sahatavaran kulutus kääntyykin laskuun samalla nopeudella kuin skenaariossa 1 kulutus kasvaa. Koska puulevyjen osuus hiilivarannossa on suhteellisen pieni, niiden kulutusta ei katsottu tarpeelliseksi muuttaa skenaarioiden välillä.

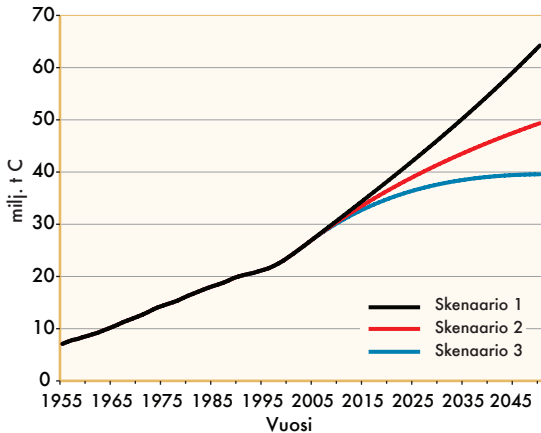
Kaikkien skenaarioiden tuloksena puutuotteiden hiilivarannot ovat kasvussa vuoteen 2050 asti (kuva 1). Skenaariossa 3, jossa sahatavaran kulutus vähenee 1,31 % vuodessa, hiilivarannon kasvu on hidasta tarkastelujakson lopussa. Skenaarioissa 1 ja 2 hiilivarannot kasvavat selvästi vielä vuonna 2050. Skenaariossa 1 hiilivarannot kasvavat vuosina 2005–2050 142 % päätyen vuonna 2050 64,2 miljoonaan tonniin hiiltä. Skenaarioissa 2 ja 3 kasvuksi saatiin 86 % ja 49 %, ja hiilivarannoiksi vuodelle 2050 saatiin 49,4 milj. t C ja 39,6 milj. t C.

Puutuotteiden hiilivarannon kasvulle laskettiin nettohykyarvot käyttäen hiilidioksidin hintaa 15 €/m<sup>3</sup> ja markkinakorkoa 4 %. Puutuotteiden nettohykyarvoksi saatiin ensimmäisessä skenaariossa 902 miljoonaa euroa, toisen ja kolmannen skenaarioiden arvojen ollessa 634 ja 443 miljoonaa euroa.

Lisäksi tarkasteltiin sitä, miten puutuotteiden hiilivarannon nettohykyarvo riippuu siitä minkä muotoinen poistuma kuvaava funktio on. Nettohykyarvot laskettiin käyttäen s-muotoista poistumafunktiota, jossa aluksi poistuma on hitaampaa kuin edellä käytetty 1,31 %, mutta keskivaiheilla poistuma on nopeampaa ja loppupuolella taas hitaampaa. Poistumafunktiot leikkaavat toisensa hetkellä, jolloin 75 % puutuotteista on poistunut käytöstä. Käyttäen

**Taulukko 1.** Puutavaran kulutuksen ennusteet vuosille 2005–2050.

	Estimoointiaikasarja	Kulutus 2004 (1000 yks.)	Kulutus 2050 (1000 yks.)	Vuotuinen kasvu (%)	Kokonaiskasvu (%)
Sahatavara	1956–2004	5575 m <sup>3</sup>	10135 m <sup>3</sup>	+1,31	+81,80
Vaneri	1962–2004	191 m <sup>3</sup>	336 m <sup>3</sup>	+1,23	+75,60
Lastulevy	1971–2004	259 m <sup>3</sup>	27 m <sup>3</sup>	-4,79	-89,55
Kuitulevy	1962–2004	215 t	379 t	+1,24	+76,39



**Kuva 1.** Puutuotteiden hiilivaranto Suomessa vuodesta 1955 ja arvioitu kehitys eri skenaarioissa vuosille 2005–2050.

s-muotoista poistumafunktiota saatiin noin 400–480 miljoonaa euroa korkeammat nettohyödykkeet kullekin skenaariolle kuin edellä.

■ MMM Jani Laturi, VTM Jarmo Mikkola ja prof. Jussi Uusivuori, Metsätutkimuslaitos, Vantaan tutkimusyksikkö. Sähköposti jani.laturi@metla.fi

Albert Porcar-Castell

## Fotosysteemi II:n toiminnan mukautuminen vuorokauden ja kasvukauden aikaiseen ympäristökijöiden vaihteluun – klorofylli-*a*:n fluoresenssi tutkimusmenetelmänä

Seloste väitöskirjasta: Porcar-Castell, A. 2008. Studying the diurnal and seasonal acclimation of photosystem II using chlorophyll-*a* fluorescence. Dissertationes Forestales 69. <http://www.metla.fi/dissertationes/df69.htm>

Pieni osa fotosynteesin valoreaktioissa sidotusta energiasta säteilee takaisin ilmiössä, jota kutsutaan klorofyllin fluoresenssiksi. Fluoresenssi ja fotosynteesin valokemialliset reaktiot kilpailevat fotosysteemi II:n (PSII) sitomasta energiasta. Tämän ilmiön vuoksi valokemiallisissa reaktioissa tapahtuvia muutoksia voidaan havaita analysoimalla klorofyllin fluoresenssia. Fluoresenssitekniikan avulla pystytään seuraamaan PSII:ssä sidotun energian jakautumista valokemiallisiin ja ei-valokemiallisiin (esim. energian poistuminen lämpönä) prosesseihin vuorokausi- ja kasvukausitasolla. Tätä sidotun valoenergian jakautumista eri prosesseihin voidaan käyttää kasvin fysiologisen tilan ja kunnan indikaattorina eri osissa kasvia tai eri aikoina. Vaikka tekniikka on yleisesti käytössä, monet tekniset ja teoreettiset ongelmat rajoittavat yhä fotosynteesin valoreaktioiden mukautumisen tutkimista klorofyllin fluoresenssin avulla. Tämän työn tavoitteena oli kehittää ja testata uusia menetelmiä fluoresenssitekniikan hyödyntämiseen, ja näiden menetelmien avulla tutkia PSII mukautumista sekä vuorokausi- että vuodenaikaistasolla.

Työssä kehitettiin uusi laskennallinen malli, jonka avulla voidaan kuvata PSII:n mukautumista valon intensiteetin nopeisiin muutoksiin. Mallin avulla oli mahdollista analysoida elektroninsiirtoketjun

nopeuden mukautumista valon intensiteetin nopeisiin muutoksiin. Tämän lisäksi kehitettiin uudenlaiset klorofyllin fluoresenssia kuvaavat laskennalliset parametrit, joiden avulla voidaan estimoida kvantitatiivisesti fotosynteesin valokemiallisten ja ei-valokemiallisten prosessien vuodenaikaista mukautumista. Näitä parametreja käytettiin tutkimuksessa, jossa analysoitiin valon ja lämpötilan yhteisvaikutuksia valoreaktioiden vuodenaikaiseen mukautumiseen. Tutkimuksen tulokset osoittivat, että valon määrä vaikutti männällä sekä lämpötilan muutokseen mukautumisen voimakkuuteen että itse muutosnopeuteen. Toisin sanoen fotosynteesin valoreaktioiden elektroninsiirtokapasiteetti pysyi suurempana varjossa olleilla neulasilla. Kun lämpötila alkoi nousta keväällä, varjoneulasat toipuivat nopeammin verrattuna valossa olleisiin neulasiin.

Talvella neulasten ksantofylli-kierrosta riippuvainen lämmönmuodostus osoittautui pääasialliseksi mekanismiksi, joka sääteli lämpönä heijastuvan energian määrää männällä. Viimeisessä osatutkimuksessani yhdistettiin PSII:n vuorokautisen ja vuodenaikaisen mukautumisen säätelymekanismit hyödyntäen vasta kehitettyä mittalaitetta MO-NI-PAM (Walz GmbH, Germany). Laitteella pystyy seuraamaan fluoresenssia pitkäaikaisesti huomattavalla tarkkuudella. Väitöskirjassa kehitettyjä ja testattuja uusia menetelmiä voidaan hyödyntää tutkittaessa fotosynteesin valoreaktioiden mukautumisen dynamiikkaa ja mekanismeja alati muuttavassa ympäristössä.

■ Albert Porcar-Castell, Helsingin yliopisto, metsäekologian laitos. Sähköposti joan.porcar@helsinki.fi

Anu Kantola

## Kuusen runkorakenteen yhteys sahapuun laatuun

Seloste väitöskirjasta: Kantola, A. 2008. The structure of Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) stems in relation to wood properties of sawn timber. Dissertations Forestales 70. <http://www.metla.fi/dissertations/df70.htm>

Suomalaisen metsäsektorin toimivuuden ja kilpailuvuoden kannalta on ensisijaisen tärkeää saada oikeanlaista puuraaka-ainetta metsistä jatkojalostukseen. Tätä silmällä pitäen erilaisia metsän kasvua ja puiden rakennetta sekä puuraaka-aineen laatua ennustavia simulaattoreita on kehitetty lisääntyvässä määrin. Kun edellä mainittuja simulaattoreita yhdistetään puuraaka-aineen jalostusprosessia mallintaviin simulaattoreihin (esim. sahaussimulaattorit), voidaan kehittää koko jalostusketjua kuvaavia ohjelmistoja. Tässä tutkimuksessa on muunnettu männyn kolmiulotteista rakennetta ennustavat simulaattorit PipeQual ja RetroSTEM kuvaamaan kuusen runkorakennetta (runkokäyrät, oksaisuus ja puuaineen tiheys). PipeQual ennustaa metsikön kasvua ja yksittäisten runkojen kolmiulotteisen rakenteen kehitystä dynaamisesti taimesta alkaen, aina metsikön kiertoajan loppuun. RetroSTEM rekonstruoi yksittäisille puille rungon kolmiulotteisen rakenteen, puun iän ja koon (pituus, rinnankorkeusläpimitta, latvussuhde) perusteella, aloittaen rakenteen muodostamisen taimesta ja päätyen puun olemassa oleviin mittoihin. Molemmat simulaattorit voidaan liittää sahaussimulaattoriin.

PipeQual ja RetroSTEM simulaattorit perustuvat molemmat teoreettiseen kuvaukseen puun rakenteesta. Tutkimuksessa ensimmäinen tavoite oli selvittää 29 yksityiskohtaisesti mitatun koepuun perusteella, missä määrin latvan rakenteen tai rungon, oksien ja latvan välisten rakennesuhteiden kehitys noudattaa tiettyjä säännönmukaisuuksia iältään ja kasvuutilaltaan erilaisissa metsiköissä. Säännönmukaisesti käyttäytyviä tai vakioiksi havaittuja suhteita puun eri rakenteiden välillä voidaan hyödyntää puuraaka-aineen laatuennusteissa kasvutiheydeltään ja iältään vaihtelevissa metsiköissä. Esimerkiksi puun

neulasmassan suhde rungon pohjapinta-alaan latvusrajalla havaittiin olevan vakio iältään erilaisissa metsiköissä, ja puun neulastiheyden todettiin saavuttavan maksimitiheyden noin viidessä metrissä latvan kärjestä alas, riippumatta puun iästä tai sen asemasta latvuserroksessa. Viiden metrin alapuolella latvan pituus ja leveys sekä samalla neulastiheys vaihtelevat puun iän ja kasvutilan mukaan. Koepuissa havaittuja säännönmukaisia rakennesuhteita käytettiin PipeQual ja RetroSTEM simulaattoreiden parametrisoinnissa kuuselle.

Tutkimuksen toinen tavoite oli testata PipeQual ja RetroSTEM simulaattoreiden ennustuskykyä vertailemalla simuloituja tunnuksia mitattuihin vastaaviin tunnuksiin. PipeQualin testiaineistona oli 36 koepuuta ja RetroSTEMin 31. Molemmat simulaattorit ennustivat yksittäisten puiden runkokäyrän ja oksien läpimitan sekä puuaineen tiheyden testiaineiston perusteella melko harhattomasti. Runkoläpimitta- ja oksaisuusennusteet rungon eri korkeuksilla osoittivat kuitenkin lievää yli- tai aliarviota ja vaativat näin ollen lisätestausta ja jatkotoimenpiteitä simulaattoreiden kehittämisessä.

Tutkimuksen kolmantena tehtävänä oli liittää RetroSTEM simulaattori InnoSIM sahaussimulaattoriin ja tämän pilottitutkimuksen perusteella voidaan todeta, että kyseisellä yhdistelmällä on mahdollista ennustaa nopeasti ja tehokkaasti kuusisahatavaran laatujaikaa eri tavoin käsitellyissä metsiköissä.

■ Anu Kantola, Metsäntutkimuslaitos, Vantaan toimintayksikkö. Sähköposti [anu.kantola@metla.fi](mailto:anu.kantola@metla.fi)